



Analyse af mulighederne i nye træarter og artskombinationer samt intensiveret skovbrug

baggrundsnotat til + 10 mio. tons planen

Madsen, Palle; Nielsen, Ulrik Braüner

Publication date:
2012

Document version
Også kaldet Forlagets PDF

Citation for published version (APA):
Madsen, P., & Nielsen, U. B., (2012). *Analyse af mulighederne i nye træarter og artskombinationer samt intensiveret skovbrug: baggrundsnotat til + 10 mio. tons planen*, 29 s.

BAGGRUNDSNOTAT:

Analyse af mulighederne i nye træarter og artskombinationer samt intensiveret skovbrug

Palle Madsen, Ulrik Braüner Nielsen

Skov & Landskab, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
2012



+ 10 MIO. TONS PLANEN

muligheder for en øget dansk produktion
af bæredygtig biomasse til bioraffinaderier



Forord

Ønsket om at skabe bæredygtige løsninger inden for energisektoren har fået forskere på Københavns Universitet, Aarhus Universitet og forsknings- og udviklingsmedarbejdere fra DONG Energy til at indgå en samarbejdsaftale, der vil starte konkrete initiativer inden for forskning og uddannelse i grøn energi. En vigtig del af samarbejdet er en undersøgelse af, hvordan vi kan producere yderligere biomasse i forhold til i dag uden at det går ud over fødevareproduktionen, foderproduktionen eller miljøet.

Skovene spiller allerede en meget væsentlig rolle, men mange mennesker er slet ikke klar over, at skovene kan komme til at spille en betydeligt større rolle – især, når realistiske tidshorisonter som 2050 tages i betragtning. Der kan dels rejses mere skov, hvilket vil suge CO₂ ud af atmosfæren og således modvirke effekterne af at menneskets massive skovrydning historisk og globalt har bidraget med en meget stor del af den CO₂ stigning, som nu kan konstateres. Dels kan skovene forvaltes, så de bliver væsentligt mere produktive under skyldig hensyntagen til samtlige bæredygtighedskriterier. Derved kan der produceres træ, som passende kan opfattes som ”grønt” kulstof modsat det fossile ”sorte” kulstof. Skovbrug er i sin natur en arealanvendelse, som med meget begrænset input kan producere et stort output – og det på lokaliteter, som ofte er uegnede til f.eks. landbrug. Det er også værd at hæfte sig ved, at skovene i sig selv skal tilpasses en fremtid, som forandrer sig på en række områder, der udfordrer skovenes sundhed, vækst og overlevelse på en måde, som ultimativt kan true skovene og dermed deres vigtige funktioner. Derfor må mennesket bidrage til at indrette og strukturere skovene på en måde, så de står bedst muligt rustet til at møde den fremtid og de forandringer, som vi selv har et stort ansvar for at have sat i gang.

Dette notat giver en generel introduktion til træarters og grupper af træarters egenskaber i relation til vækstrytme, produktivitet, krav til lokalitet og jordbund samt hvordan de kan indgå i relevante skovdyrkningssystemer. Det understreges, at man ved at vælge relevante træartssammensætninger med skovbrug kan opnå fuld produktion på et areal næsten lige så hurtigt som i landbruget, hvilket især er interessant i forbindelse med skovrejsning. I relation til de nuværende skovarealer kan omlægningen naturligvis ikke ske så hurtigt, hvorfor dette notat først og fremmest retter sig mod at beskrive potentialet i træartsvalget i forhold til 2050 målsætningen. Notatet omfatter ikke analyser af mulighederne i f.eks. gødskning, intensive kulturmetoder og pesticidanvendelse eller intensiv udnyttelse af biomassen (f.eks. heltræudnyttelse eller udnyttelse af stød). Intensiveringen i forbindelse med træartsvalget beskriver primært potentialet i at forholde sig aktivt til træartsvalget og valget af træartsblandinger med henblik på at etablere højproduktive, stabile og sunde skove.

Notatet er udarbejdet i forbindelse med projektet kaldet ”10 millioner tons-planen”. Projektet er del af den samarbejdsaftale, som Københavns Universitet, Aarhus Universitet og DONG Energy indgik i december 2011, der skal være med til at lancere konkrete initiativer inden for forskning og uddannelse i grøn energi.

Introduktion

Historien er nødvendig for at forstå nutiden

Danske skove har gennem landskabshistorien gennemgået betydeligt større forandringer end i de fleste andre lande. Det danske landskab er karakteristisk ved, at det stort set mangler større sammenhængende og utilgængelige områder som bjerge eller andre uopdyrkelige områder som større sumpe eller meget tørre områder. Navnlig siden vikingetiden og indtil for 200 år siden faldt skovarealet stort set uafbrudt som følge af skovrydning efterfulgt af afbrænding, opdyrkning og intensiv græsning med husdyr. Skovene blev gradvist trængt helt tilbage for til sidst kun at dække 2-4 % af landskabet. Sammenlignet med nutidens skove må det formodes, at disse tilbageværende skove var i en ringe produktionsmæssig tilstand – forhuggede og med ringe foryngelse efter århundreder med overudnyttelse og græsning (Madsen et al. 2005). Med nutidens flersidige målestok har de givetvis indeholdt en lang række æstetiske og naturmæssige værdier, men i den aktuelle sammenhæng fokuseres på skovenes produktion af træ og træbaseret biomasse.

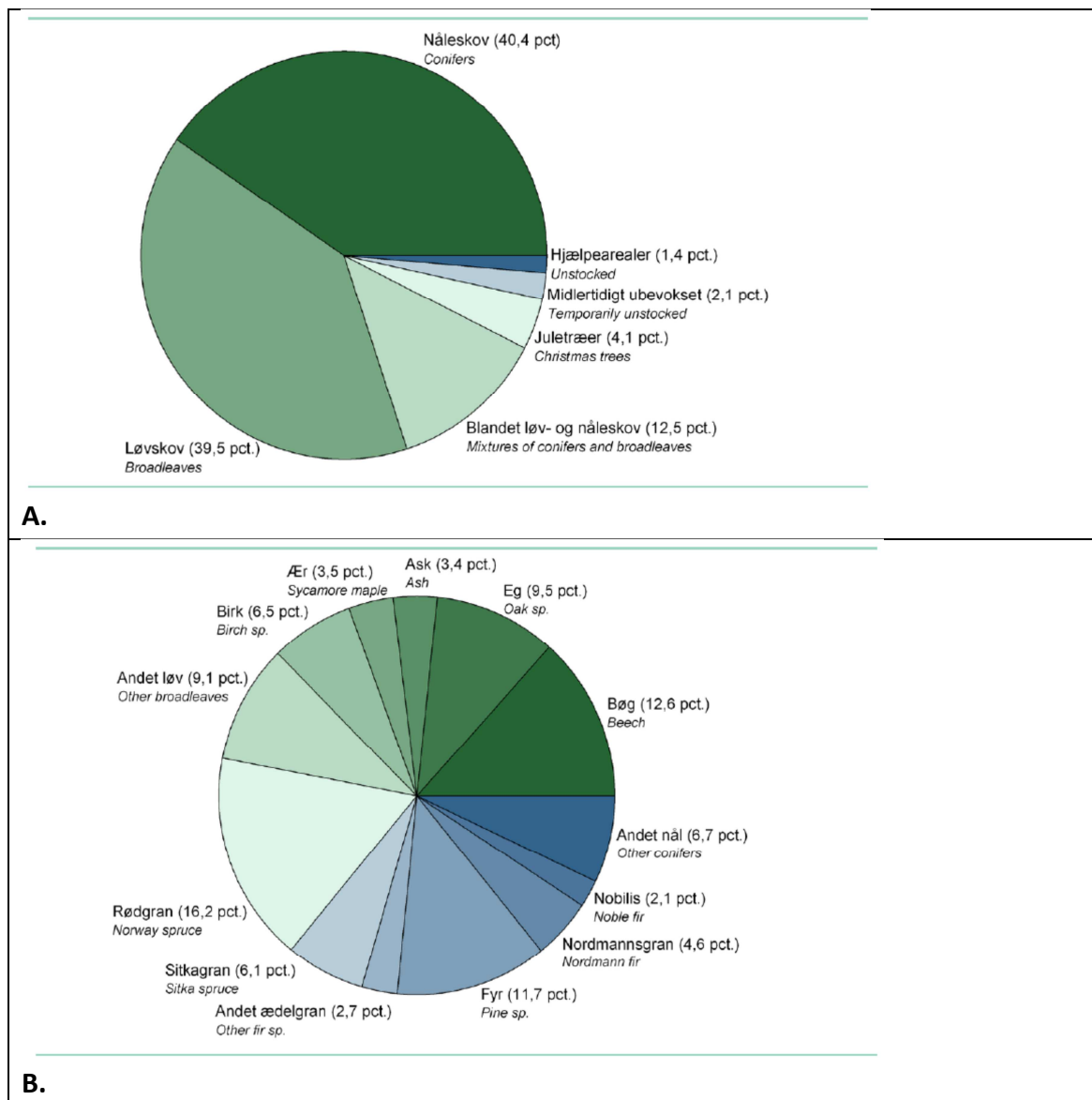
Med Fredskovsforordningen af 1805 lykkedes det for alvor at vende udviklingen for skovene, og en langsom skovgenopretningsproces tog sin begyndelse. Det var dog først i midten af 1870'erne, at skovrejsningen for alvor tog fart. De store hedeområder, som navnlig prægede Jylland, udgjorde et meget vanskeligt udgangspunkt for både landbrug og skovbrug. Heden repræsenterede slutpunktet for en ikke-bæredygtig udvikling – det tætteste man kan komme ørkendannelse under vore tempererede klimaforhold.

De naturligt hjemmehørende løvtræarter kunne reelt ikke etableres og overleve under disse barske vilkår. Det kunne derimod de mest hårdføre produktive nåletræarter, hvoraf stort set alle er fremmede træarter. Samtidig er nåletræerne generelt væsentligt mere produktive end løvtræerne – især på de sandede og grusede jorder. Det var i denne periode, at grundlaget blev skabt for den danske skovdyrkningspraksis med relativ stor vægt på fremmede træarter (Fig.1). Dette afspejles endvidere i nutidens skove og skovdyrkning, hvor halvdelen af det produktive areal domineres af nåletræer.

Dansk skovdyrkningspraksis er således karakteristisk ved en meget udbredt og aktiv anvendelse af fremmede træarter. Det gælder især indenfor klassisk bevoksningsvis skovdrift, som ofte kan karakteriseres som plantagedrift. Her sker foryngelsen af de enkelte bevoksninger i reglen ved renafdrift og efterfølgende plantning. Fremmede træarter anvendes også indenfor den naturnære skovdrift, hvor det i højere grad tilstræbes at bevare skovdækket og –klimaet intakt i foryngelsesfasen, ligesom naturlig foryngelse er den dominerende foryngelsesform.

De fremmede nåletræarter var ikke kun afgørende for genetableringen af skovtilstanden i de degraderede landskaber, men har produceret – og gør det stadig - store mængder af tømmer og andre træprodukter, som i perioder har været meget værdifulde. Navnlig i begyndelsen af 1900-tallet var træ en særdeles værdifuld naturressource indtil genopbygningen efter 2. Verdenskrig var

afsluttet. Gennem de seneste to-tre årtier har træprodukter imidlertid været lavt prissat, og fokus i store dele af skovbruget har i samme periode fjernet sig fra træproduktionen.



Figur 1. Fordelingen til arealanvendelse i danske skove (A) og træarter i danske skove udtrykt som den procentvise andel af det bevoksede areal (B) (Nord-Larsen et al. 2009). Stort set alle nævnte nåletræarter er fremmede træarter; hvoraf nordmannsgran og nobilis udelukkende er etableret mhp. dyrkning juletræer og pyntegrønt. Kun i gruppen "Fyr" udgør den naturligt hjemmehørende skovfyr en mindre andel. Træproduktionsmæssigt er nåletræerne generelt betydeligt mere produktive end løvtræerne.

Historiens store udsving i træpriserne viser imidlertid, at det er højest usikkert at forudsige fremtidens priser på træ og træprodukter. Det kan derfor vise sig meget fejlagtigt at afskrive træproduktionens langsigtede værdier og betydning med udgangspunkt i de aktuelle priser på træ. Den nuværende og stigende erkendelse af, at vore moderne samfund må frigøres fra afhængigheden af fossilt kulstof er i sig selv et godt eksempel på, hvorledes væsentlige forudsætninger for det eksisterende træ- og biomassemarked hurtigt kan ændre sig.

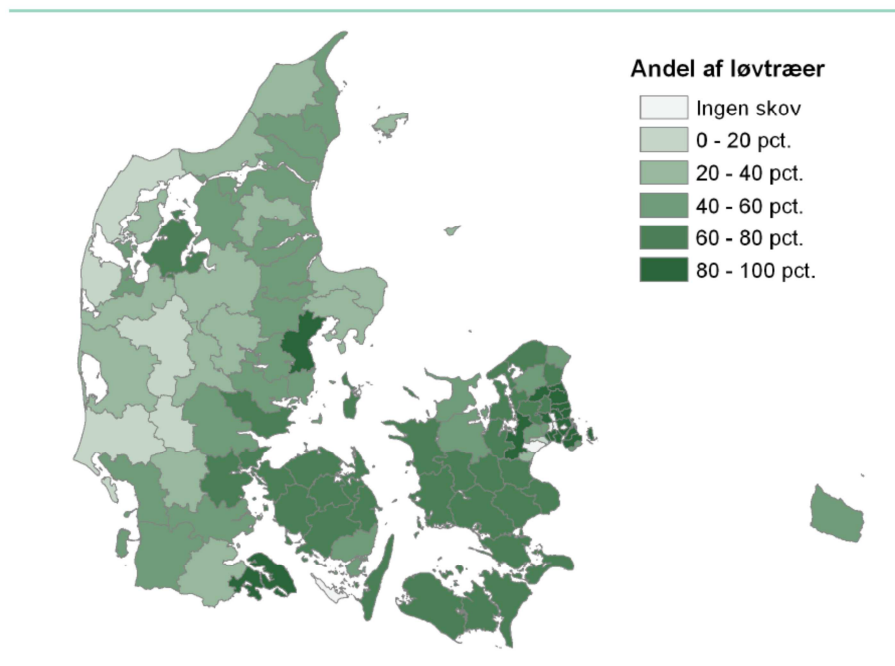
Nåletræarterne kan med deres høje produktivitet vise sig igen at få forøget deres betydning i skovene i takt med at behovet for træ til mange forskellige anvendelser forventes at stige.

Det er vigtigt at være opmærksom på, at antallet af hjemmehørende træarter i det nordvestlige Europa og dermed i Danmark relativt lavt sammenlignet med andre kontinenter (FAO, 2005), hvilket er et resultat af, at istidernes tilbagevendende påvirkninger af vegetationszonerne ved skiftevis at presse flora og fauna ud af området for senere at tillade genindvandring (Bradshaw og Mitchell, 1999). Forøgelsen af antallet af træarter, som dyrkes aktivt i skovbruget repræsenterer således opfattes som en tiltrængt forøgelse af risikospredningen i form af øget artsdiversitet i forhold til den naturgivne artsdiversitet. Risikospredningen er væsentlig for skovenes stabilitet (resistens og resiliens) i forhold til fremtidens ukendte udfordringer i form af f.eks. klimaændringer, sygdoms- og insektangreb og øgede krav til produktivitet.

Træarternes fordeling i relation til jordbund

Træartenes fordeling i landet afspejler i høj grad jordbundsforholdene, idet nåletræerne generelt foretrækkes på de mest næringsfattige og tørre sandede eller grusede jorder i Vest-, Nord- og Himmerland samt Djursland, mens løvtræerne i reglen dominerer på de næringsrige jorder (Fig. 2) i Østjylland samt på øerne.

Nåletrædominansen på de sandede og grusede jorder skyldes både, at nåletræerne sammenlignet med løvtræerne generelt kan præstere en væsentligt højere produktion her samtidig med, at de er væsentligt lettere og billigere at forynge i disse egne af landet. I Østdanmark er nåletræerne også mere produktive end løvtræerne; men på de næringsrige og ofte lerede jorder har bevoksninger af især granarterne (rødgran og sitkagran) en stærk tendens til at miste sundhed og stabilitet relativt tidligt i omdriften, mens løvtræerne samtidig opnår væsentligt højere produktionsniveauer end på de ringere jorder. Andre nåletræarter som f.eks. lærk og de nordvestamerikanske Douglasgran, grandis og thuja opnår også en god sundhed samt langsigtet stabilitet (Douglasgran, thuja og lærk) i store dele af Østdanmark.



Figur 2. Løvtræandelen (% af skovarealet) i skovene indenfor de enkelte kommuner.

Træarternes produktionsniveau

Generelt om træartsvalg i skovbruget

I forhold til denne analyses fokus på muligheder for at øge skovenes biomasseproduktion, er træartsvalget givetvis den vigtigste faktor under den forudsætning, at træartsvalget foretages korrekt i forhold til lokalitetens kår, så både potentialer og begrænsninger kan tages i regning. F.eks. kan flere nåletræarter præstere en meget høj produktion på lerede jorder, men det er usikkert hvorvidt bevoksningerne her kan opnå optimal omdriftsalder, fordi deres stabilitet og sundhed på disse jorder aftager allerede relativt tidligt – f.eks. i 30-40 års alderen.

Træartsvalget er ligeledes afgørende for mulighederne for at anvende forædlet (genetisk udvalgt) materiale. For nogle træarter findes udvalgt eller forædlet genetisk materiale med væsentligt højere produktionsevne eller særlige kvaliteter. Det kan være frømateriale fra et særligt område, eller bevoksning eller frøavlsbevoksning (proveniens). Sidstnævnte er typisk fremkommet ved som resultat af forædlingsprogrammer. For nogle arter foreligger der ligeledes udvalgte kloner (f.eks. poppel og sitkagran), se også notatet om "Analyse af forædlingspotentialer for højere produktivitet i skovbruget".

Valg af træart og det genetiske materiale inden for træarterne er blandt de absolut vigtigste driftsmæssige beslutninger, som træffes, fordi det har langtrækkende betydning for, hvordan bevoksningen vil udvikle sig med hensyn til f.eks.:

- hvilke træprodukter der vil blive produceret
- hvor stor produktionen vil blive
- hvordan det enkelte areal i skoven (bevoksningen) vil tage sig ud
- hvilket økosystem det vil huse
- hvilke funktioner det vil udfylde
- hvor stabil bevoksningen vil blive.

Den tidsmæssige rækkevidde af træartvalget understreges af, at de fleste træarter dyrkes i omdrifter eller rotationer på mellem 40 og 100 år – i nogle tilfælde længere. Dertil kommer valget af den driftsmæssige tilgang (f.eks. klassisk bevoksningsvis eller naturnær tilgang) samt valg af skovdyrkningssystem (f.eks. renafdrifts-, ensaldrende skærmsystemer, uensaldrende gruppevise systemer eller uensaldrende træartsblandinger på enkelttræniveau).

I denne analyse er der fokus på skovens potentiale for biomasseproduktion. Dette produktionsmål kan kun med forbehold analyseres isoleret i forhold til skovens øvrige funktioner. Det er også vigtigt at inddrage de muligheder og udfordringer, som vil opstå i fremtiden, og som vil adskille sig fra fortidens.

Skovbrugets omdrift – dvs. den enkelte bevoksnings levetid indtil den skoves - er meget lang sammenlignet med landbrugets, som typisk dyrker enårige afgrøder. Dog kan landbrugets biomasseafgrøder efter gældende regler indenfor Enkeltbetalingsordningen dyrkes i op til 10 års rotation. Dertil kommer, at bevoksningsbegrebet opløses i større eller mindre grad i skovbrug, som drives efter naturnær principper og uensaldrende skovdyrkningssystemer, hvor der i højere grad tilstræbes at opretholde et vedvarende skovdække.

Det skal understreges, at der i løbet af en skovbevoksnings omdrift kan komme væsentlige hugstudbytter allerede tidligt i omdriften både ved at etablere stamtalsrige foryngelser og ved at etablere blandinger af træarter med forskellig vækstrytme (pionertræarter og klimakstræarter, se senere).

Der kan med den ekstensive skovdyrkningsmæssige tilgang produceres udbytter på samme niveau eller højere sammenlignet med landbrugets energiafgrøder, men det vil typisk ske med en forsinkelse på 10-20 år eller mere. Den korteste forsinkelse opnås med de hurtigst startende pionertræarter (poppel og lærk). I forbindelse med bevoksninger bestående af træartsblandinger vil det i reglen være relevant at dyrke de enkelte træarter i en given bevoksning i forskellige omdrifter afhængig af de enkelte træarters konkrete egenskaber.

I skovdriften venter man typisk med hovedskovningen af en træart i en bevoksning til arten har nået en optimal eller relevant alder. I den vurdering medtages foruden hensyn til økonomien for

den enkelte træart i en bevoksning også hensyn til, hvordan fjernelsen eller bevarelsen af den givne træart påvirker øvrige træarter i bevoksningen og nabobevoksninger - og dermed skoven som helhed. Den økonomiske del af kalkulen vil i reglen også tilsige, at en træart dyrkes i en omdriftsalder, som nærmer sig den omdriftsalder, hvor maksimal gennemsnitlig produktion opnås. Dette er i modsætning til landbruget, hvor en række energiafgrøders omdriftsalder primært defineres af tilskudsreglernes krav eller begrænsninger, som defineres af eksisterende høstmetoder.

De lange omdrifter i skovbruget, som er knyttet til de mest almindelige træarter gør, at det normalt ikke vil være driftsøkonomisk realistisk at ændre træarten undervejs i omdriften, selvom andre mål og ønsker til skovdriften skulle dukke op. En træart bliver kun udskiftet i "utide" i de tilfælde, hvor skovejeren vælger at se bort fra almindelige driftsøkonomiske forhold, eller hvor der f.eks. opstår stormfald, brand, forsumpning eller oversvømmelse, samt ved ødelæggende angreb af sygdom eller insekter.

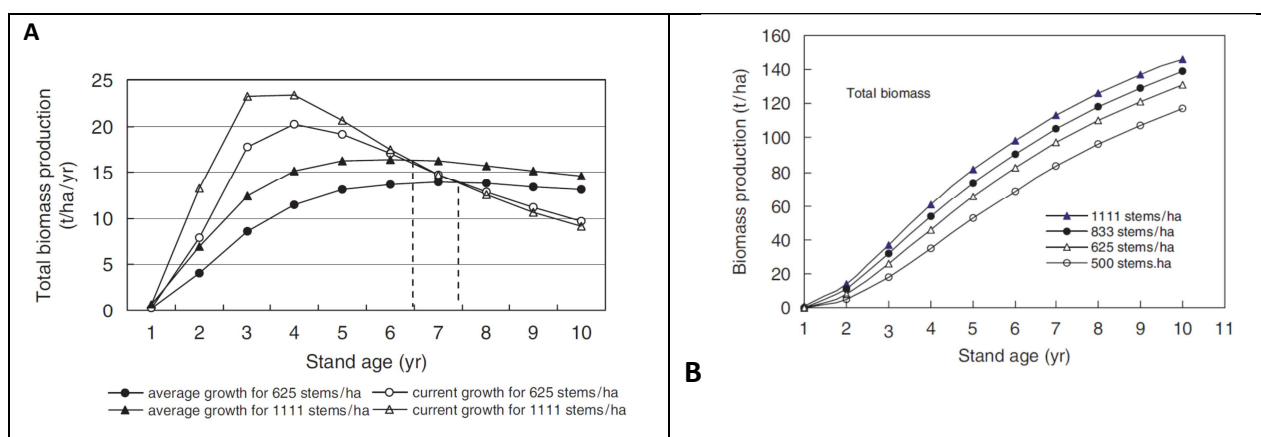
Derfor forsøger man generelt i skovbruget at vælge træarter, som

- er tilpasset de økologiske kår (jordbund og klima) og dermed forventes at være langsigtet stabile og sunde på lokaliteten – alternativt accepterer og indretter man sig på at dyrke træarten i relativ kort omdrift på lokaliteten
- har egenskaber og produktion af træprodukter som forventes at passe ind i skovens helhed og produktportefølje på både kort og langt sigt
- bidrager til risikospredningen i forhold til de delvist ukendte fremtidige økologiske kår, markeder, risikofaktorer og mål med skov og skovdrift.

Træarternes tilvækst, vækstrytme og omdriftsalder

Indledningsvist skal træarters karakteristika skitseres med hensyn til produktivitet og vækstrytme, samt fastlæggelse af optimal omdriftsalder med henblik på at maksimere den gennemsnitlige produktion.

Den årlige tilvækst udtrykkes typisk som t. tørstof/ha/år, når biomasse-produktion er i fokus, eller m³ salgbar masse/ha/år i forbindelse med traditionel opmåling og salg af træprodukter (f.eks. tømmer el. kævler) fra skoven. Generelt følger skovbevoksningers tilvækst et udviklingsforløb, som skitseret i Fig. 3A. Figuren demonstrerer hvorledes kurven for den løbende tilvækst altid (pr. definition) vil skære kurven for gennemsnitlig tilvækst gennem hele rotationen i dennes toppunkt. Derved kan den omdriftsalder, som resulterer i maksimal gennemsnitlig tilvækst fastlægges i det enkelte tilfælde. For en god ordens skyld skal det nævnes, at denne omdriftsalder typisk ikke vil være den økonomisk optimale, da forrentningen af udgifter og indtægter i så fald skal indregnes.



Figur. 3. **A.** Relationen mellem løbende og gennemsnitlig tilvækst (Fang et al. 2006). Løbende årlig tilvækst (totalmasse, t tørstof/ha/år; åbne symboler) og gennemsnitlig årlig tilvækst (totalmasse t. tørstof/ha/år; lukkede symboler) for poppel i Kina ved to stamtal (625 og 1111 træer/ha). Bemærk hvordan kurverne for løbende tilvækst skærer toppunktet for kurverne for gennemsnitlig tilvækst. Derved kan omdriftsalder for maksimal gennemsnitlig tilvækst fastlægges (6,5 år for højeste plantetal og 7,5 år for laveste plantetal). Eksemplet m. poppel i så kort rotation er valgt fordi kurverne i denne publikation er meget tydelige og illustrerer principperne godt m udgangspunkt i konkrete data. Data for 500 og 833 træer/ha er ikke vist.

B. Akkumuleret total biomasseproduktion (t. tørstof/ha) som funktion af bevoksningsalder ved fire forskellige stamtal.

Fig. 3A viser et eksempel på omdriftsalder i poppel plantage i Kina, hvor vækstmønsteret resulterer i meget kort omdriftsalder på 6-8 år. Det fremgår, hvordan stamtallet kan påvirke omdriftsalderen, at den bliver kortere med stigende stamtal. Tilsvarende kan dyrkningsintensiteten og tyndingsprogrammet have betydning for omdriftsalderen. Størst effekt har dog selve træartsvalget, valget af genetisk materiale indenfor træarten (f.eks. forædlet materiale), træartsblandinger samt samspillet med lokaliteten. Fig. 3B viser akkumuleret total biomasseproduktion for samme eksempel med poppel i Kina ved fire forskellige stamtal.

I Danmark vil vore almindelige skovtræarter være langsommere til etablere sig og opnå fuld produktion, men til gengæld vil de kunne opretholde en høj produktion gennem en længere omdrift (Fig. 4). Bemærk her enhederne på y-akserne og, at poplerne i Kina ved alder 10 år har opnået en total biomasseproduktion på ca. 110-140 t. tørstof/ha, hvilket de hurtigst voksende arter i de danske undersøgelser passerer ved 15-års alderen. I de danske forsøg fortsætter den løbende tilvækst imidlertid med at stige i mange år frem for de fleste arter undtagen hybridasp, som efter en hurtigt start blev stærkt sygdomsangrebet. Tilsvarende har rødøl produceret meget lidt og haft ringe sundhed i disse forsøg – et fænomen, som siden er blevet tilskrevet dårlig proveniens. I de senere år er ask overalt i landet – og dermed også i forsøgene fra 1973 – blevet ramt af sygdommen asketoptørre.

I disse to forsøg er det i øvrigt den nordvestamerikanske nåletræart grandis, som i begge tilfælde - henholdsvis 43 og 37 år efter plantning (45 og 39 år fra frø) - viser den højeste produktivitet med

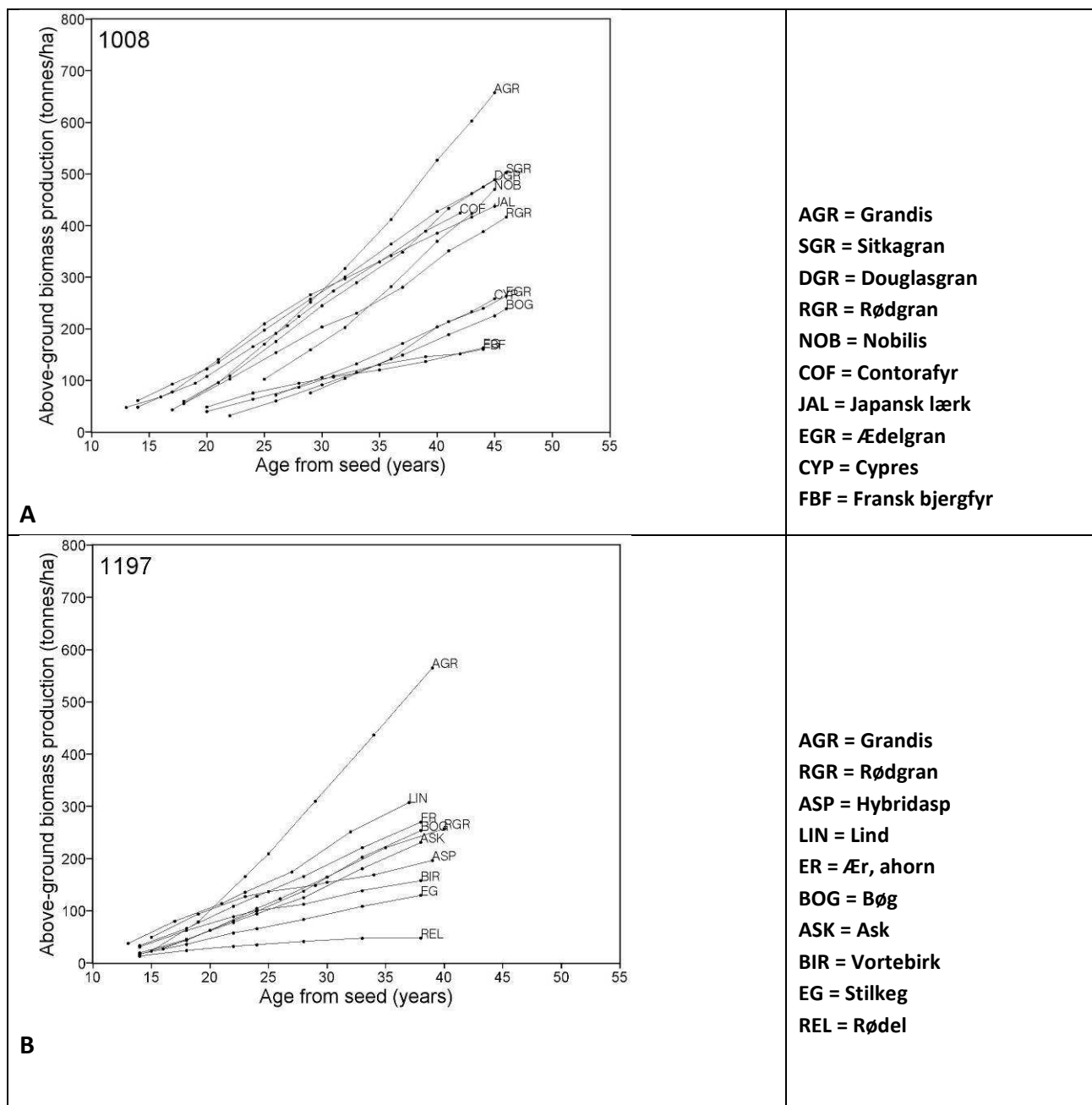
en gennemsnitlig årlig produktion på ca. 15,5 t/ha år. Kurvernes opadbuede form tyder desuden på, at den løbende og dermed også den gennemsnitlige produktion ved seneste opgørelse endnu ikke har nået maksimum, og at den høje produktion således øges over flere årtier. Det skal også understreges, at forsøgene ved seneste opgørelse i 2008 endnu er relativt unge, og at især flere af de produktive klimaksarter ved denne alder kun er mindre end halvvejs gennem en typisk omdrift på f.eks. 100 år for bøg og Douglasgran, mens grandis, sitkagran og rødgran ofte dyrkes i omdrifter på 50-80 år. Sammenligningen mellem de forskellige træarters gennemsnitlige produktionsniveau i disse forsøg, skal derfor ske med det forbehold, at flere af arterne stadig ikke har opnået den produktionsmæssigt optimale omdriftsalder.

Omdriftsalderen i skovbruget fastsættes normalt ikke kun ud fra ønsket om at opnå en teoretisk optimal økonomisk omdriftsalder eller en maksimal gennemsnitlig produktion. Først og fremmest stiger risikoen for stormfald med bevoksningens alder, ligesom risikoen øges for, at der sker forringelse af sundheden og dermed både produktivitet og kvalitet på tømmer og kævler, når en bevoksning bliver ældre end sædvanligt for træarten på lokalitetstypen. Det kan også være relevant at begrænse omdriften for at undgå for store dimensioner på tømmeret i forhold til savværkernes ønsker.

Fig. 4 demonstrerer den store forskel, der typisk er mellem forskellige træarters produktionsniveau på en given lokalitet. Desuden er det karakteristisk, at flere af nåltræarterne – især grandis, Sitkagran, Douglasgran og rødgran – er betydeligt mere produktive end selv de mest produktive løvtræarter som lind, bøg og ahorn på sandede jorder, hvorimod løvtræerne er ligeså produktive som f.eks. rødgran på den lerede jord (Petersgaard). Tilmed ser lind her ud til at være mere produktiv en rødgran.

Det er også vigtigt at hæfte sig ved træartenes forskellige vækstrytme. Helt karakteristisk er de betydelige forskelle mellem arter, som groft kan klassificeres som henholdsvis pionérarter (f.eks. asp, poppel, birk, rød, lærk, fuglekirsebær og skovfyr) og klimaksarter (f.eks. Douglasgran, grandis, Sitkagran, rødgran, ædelgran, bøg og lind). Dertil kommer træarter, som befinder sig i spektret mellem disse to klasser (Fig. 4).

Pionértræarterne er lyskrævende og økologisk tilpasset til at etablere sig under de relativt ugunstige vilkår, som findes på åbne arealer, hvor risikoen for frostskaader, kraftig ukrudtskonkurrence samt vindslid og stærk varmepåvirkning fra solen er nogle af de alvorlige stress-påvirkninger som planterne og de unge træer udsættes for. Det åbne land fremmer også forekomsten af især markmus, som kan skade mange træarter i forryngelsesfasen.



Figur 4. Akkumuleret tilvækst, totalmasse over jorden (t. tørstof/ha) for skovbrugets almindelige træarter i Danmark. Foreløbige og upublicerede resultater (Nord-Larsen 2012) fra to udvalgte arealer med træartsforsøg indenfor to af Skov & Landskabs forsøgsserier.

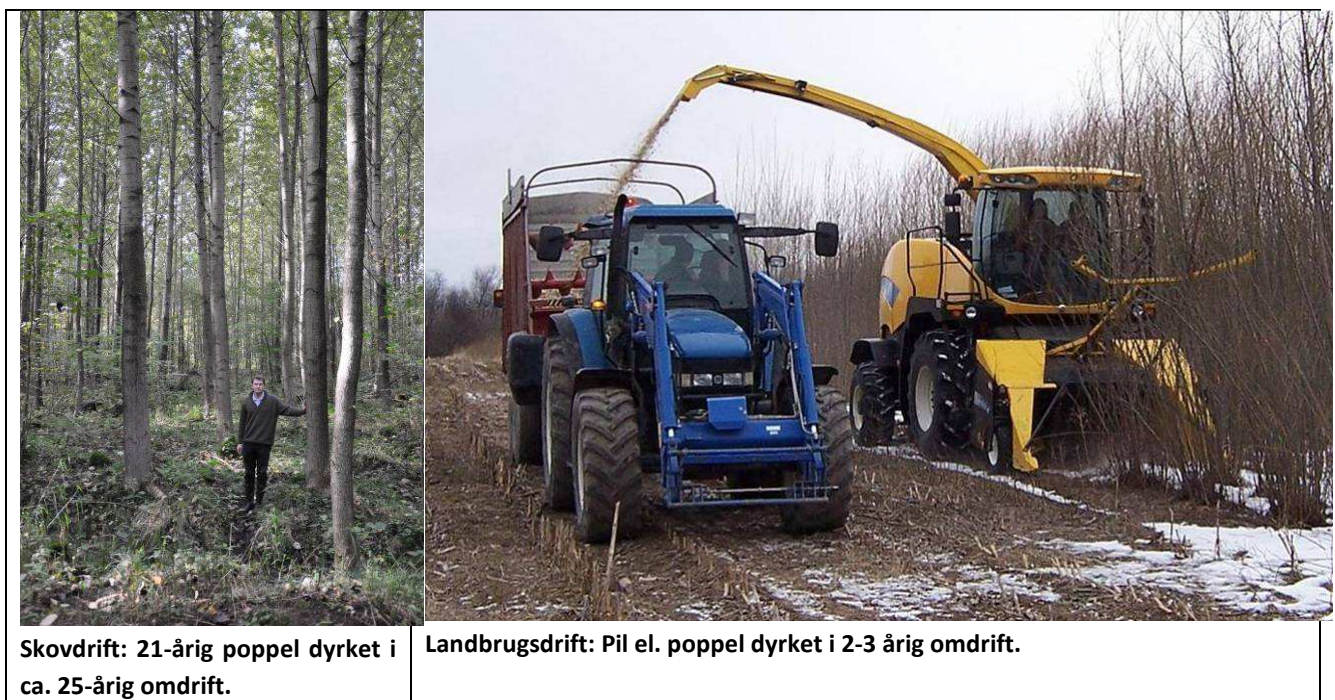
A. Forsøg på tidligere landbrugsjord, Løvenholm, Djursland. Forsøgsserie (nåletræserien) anlagt ved plantning i efteråret 1964 – foråret 65. Forsøgsanlæg fremgår af Jørgensen et al. (1998).

B. Forsøgsserie (løvtræserien) anlagt ved plantning foråret 1973 – her eksempel fra Viemose Skov, Petergaard Skovdistrikt på Sydsjælland. Forsøgsanlæg beskrevet af Jørgensen (1995).

Pionértræarterne har derfor en god evne til at udnytte den fulde lystilgang, vokse hurtigt fra starten og dermed hurtigt komme gennem den kritiske fase og udvikle sig til veletablerede træer hurtigt. Til gengæld har pionérarterne svært ved at opretholde det høje produktionsniveau gennem mange årtier, ligesom de generelt ikke opnår så høj alder. Blandt de væsentlige

undtagelser er eg, som i foryngelsesfasen har egenskaber som en pionértræart med hensyn til lyskrav og delvist også hurtig vækst. Alligevel formår eg at blive meget gammel, blot den ikke udsættes for konkurrence fra andre og mere hurtigtvoksende træarter. Det samme gælder mange buskarter, der ligesom eg er tilpasset lysåbne skovtyper, randzoner og landskaber. Denne hurtige og tidlige vækst bidrager også til at flere pionértræarter ofte er kommet i fokus med henblik på biomasseproduktion – især i en landbrugsmæssig sammenhæng. Det drejer sig primært om træarter som pil og poppel. I skovbruget øges interessen i disse år tilsvarende for poppel og lærk, hvor lærk er den art, der er mest erfaring med i dansk skovbrug, da den traditionelt er dyrket som hjælpetræart, men også til tømmerproduktion.

For poppel rapporterer Nielsen et al. (2011) en gennemsnitlig produktion på 7,5-9,0 t tørstof/ha/år efter 13 år for velkendt og anbefalet klon (OP42) af poppel i to skovrejsningsforsøg på sandet landbrugsjord, hvilket er på niveau med produktivitet af poppel og asp, som rapporteret fra Sydsverige (Rytter og Stener 2005; Christersson 2010). Forsøget er endnu ikke afsluttet og omdriftsalderen forventes, at skulle op på ca. 25 år for at nå maksimal gennemsnitlig produktion for denne poppelklon.



Figur 5. Den skovbrugs- og landbrugsmæssige tilgang til at producere biomasse til det samme marked. Produktiviteten er tilsyneladende på samme niveau, men indsatsen i form af gødskning og høst i landbruget, som understøttes af enkeltbetalingsordningen, er betydeligt større end i det oftest ikke-gødskede og ekstensivt drevne skovbrug.

Poppel dyrket i på de bedre jorder i skovbruget eller i skovrejsning på landbrugsjord med ekstensiv og billig kulturetablering og uden brug af gødskning opnår således et produktionsniveau, som ser ud til at være på højde med den betydeligt mere intensive og tilskudsberettigede (under

landbrugets støtteordning ”Enkeltbetalingsordningen”, fig. 5) landbrugsmæssige dyrkning af pil og poppel i helt korte (2-7 årige) rotationer (Lærke et al 2010; Jørgensen et al 2012). Da dyrkningen af disse arter stadig er i sin begyndelse herhjemme, er produktionsniveauerne i praktisk dyrkning endnu usikkert fastlagt.

Flere af klimaks-arterne er i reglen mere produktive end pionérarterne – først og fremmest fordi de er i stand til at fastholde det høje produktions-niveau gennem flere årtier. For klimaks-arterne ser den løbende tilvækst ikke ud til at falde før ved relativ høj alder. Dette kan ses i Fig. 2, hvor flere af klimaksarterne stadig kun er knapt halvvejs gennem en sædvanlig omdrift. Klimaks-arternes svaghed er for manges vedkommende, at de er følsomme i kulturfasen for især frostskafer, ukrudtskonkurrence og tilmed er udsatte for angreb af gnavere og/eller vildt. Det medfører, at risikoen for planteafgang (død) eller meget langsom start efter etablering kan forringe artens ellers udmærkede produktionspotentialer på mange lokalitetstyper, hvis ikke der tages nødvendige forholdsregler i kulturfasen. Nogle produktive klimaksarter som f.eks. rødgran, Sitkagran og lind er dog ikke så følsomme i kulturfasen.

Lokalitetens betydning

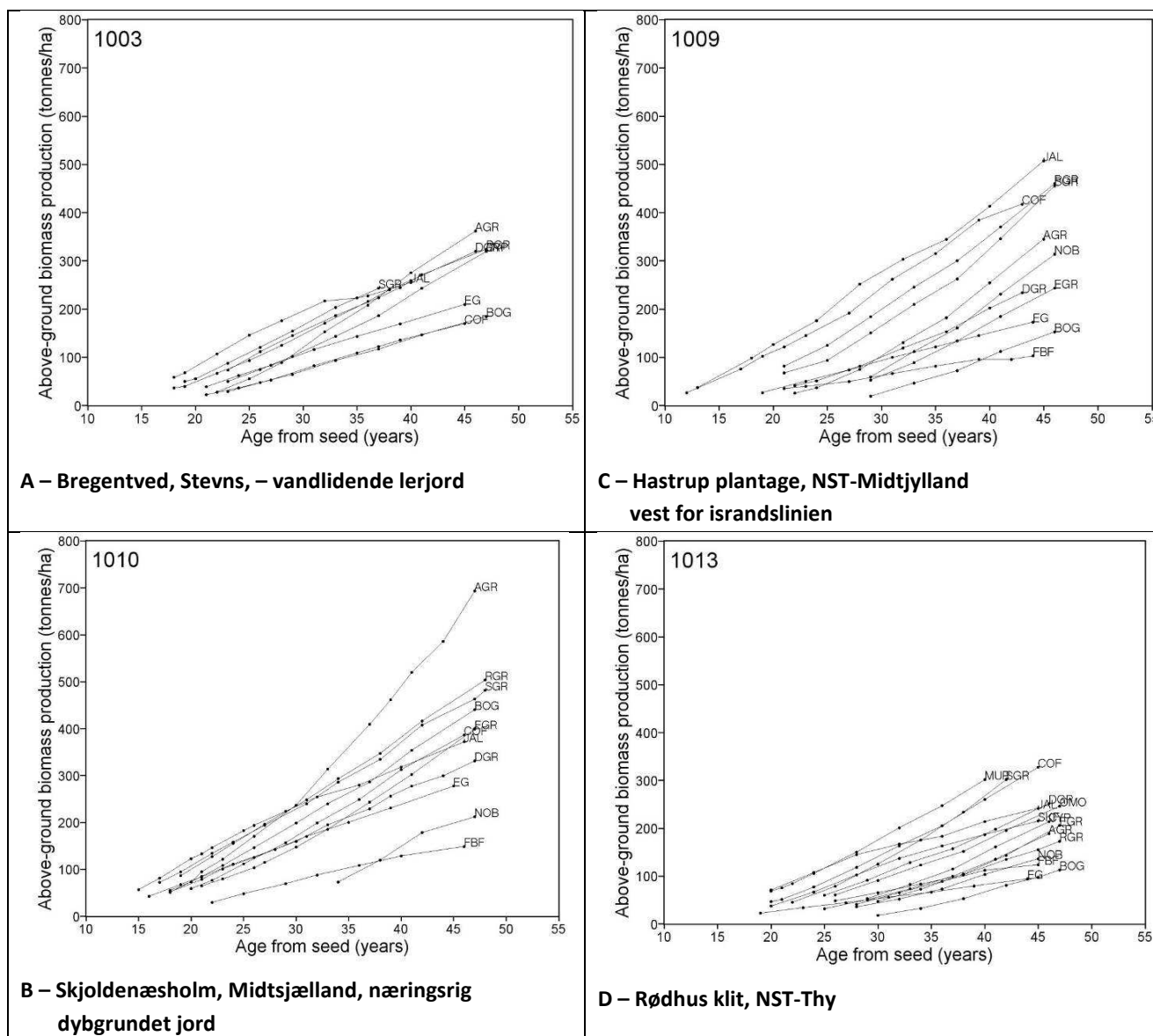
Træartsvalget i forhold til lokaliteten er afgørende for bevoksningens sundhed, stabilitet og produktivitet. Det er især jordbundsforholdene, som er vigtig for de almindeligt dyrkede træarter i Danmark. En dybgrundet og nogenlunde næringsrig jord giver næsten alle træarter gode eller optimale vækstvilkår. Med dybgrundet forstås en veldrænet jord med let adgang til udvikling at dybt og omfangsrigt rodsystem. Næringsindholdet er ikke så vigtigt for skovtræerne, som god adgang til vand og ilt i jorden.

Med hensyn til adgangen til vand er det ikke tilstrækkeligt, at der er meget vand til rådighed; der skal også være ilt i jorden, ellers drukner en større eller mindre del af rodsystemet. Rod- og vandstandsende lag i jorden er således blandt de mest indskrænkende egenskaber i jorden. Det opstår oftest ved

- højt lerindhold i jorden
- lavninger med ringe eller ingen bortledning af vand
- rod- og/eller vandstandsende lag som f.eks. al-laget under tidligere hede eller en ”pløjjesål” under landbrugsjord
- jordkomprimering og rodskafer som følge af uhensigtsmæssigt kørsel i forbindelse med f.eks. skovning og udkørsel.

Dårlige muligheder for rodudvikling medfører ikke blot forringelse af vækst og sundhed, men i høj grad også af forankringen i jorden, således at følsomhed for stormfald derved øges. Et hældende terræn byder ofte på gode vækstvilkår, idet dræningen her ofte er god, uden at det medfører ringe adgang til vand i jorden.

I den anden ende af spektret findes de tørre og næringsfattige jorder, med f.eks. flyvesandsklitter og afblæsningsflader i klitområderne samt på de tidligere hedesletter. Her kan vækstbetingelserne være så ringe, at selv de mest nøjsomme nåletræarter kan blive hæmmet væsentligt. Træarternes lokalitetstilpasning er i høj grad et spørgsmål om, hvor godt de tolerer afvigelser fra den optimale situation. Dog ses også, at nogle af de mest nøjsomme træarter – især nåletræarter som fyr, gran og lærk – kan mistrives eller være relativt vanskelige at etablere på de mest næringsrige lokaliteter.



Figur 6. Akkumuleret tilvækst, totalmasse over jorden (t. tørstof/ha) for skovbrugets almindelige træarter (Nord-Larsen, 2012). Foreløbige og upublicerede resultater i træartsforsøg på fire typiske lokalitetstyper i Danmark. Skov & Landskabs forsøgsserie (nåletræserien) anlagt 1964-65. Se træartsforkortelser i Fig. 4. De fleste træarter er senest opmålt efter 2010 vækstsæsonen, hvilket vil sige 45 år efter plantning eller 46-48 år fra frø, som repræsenterer den traditionelle aldersangivelse i skovbruget. Forsøgsanlæg beskrevet af Jørgensen et al. (1998).

Figur 6 viser resultater af fire udvalgte træartsforsøg på meget forskellige lokalitetstyper – østdansk lerjord (Bregentved, Stevs), østdansk optimal skovjord (Midtsjælland), hedeplantage (Hastrup Plantage, Midtjylland vest for israndslinien) og klitplantage (Thy). Det skal bemærkes, at forsøgene er anlagt uden gentagelser på den enkelte lokalitet, hvorfor særligt dårlige eller særligt gode kår i enkelte parceller kan medføre et produktionsniveau for en given art, som ved en tilfældighed er usædvanligt lavt eller højt. F.eks. ses et overraskende lavt produktionsniveau for Douglasgran på Skjoldenæsholm, som er et skovdistrikt, der i øvrigt er kendt for sin produktion af netop Douglasgran tømmer. De enkelte parceller er dog typisk 0,2-0,4 ha og omkranset af sluttet skov, hvilket gør, at produktionsniveauerne for de involverede træarter i forsøgene generelt er realistiske for et skovareal på en jordbund uden særlige problemer i form af f.eks. dårlig afvanding.

Umiddelbart ses fire meget forskellige produktionsniveauer. Højest produktion findes på Skjoldenæsholm, Midtsjælland, hvor jordbunden generelt er dybgrundet og næringsrig, ligesom terrænet er småkuperet. Grandis har fra start til status 45 år efter plantning (47 år efter frø) produceret næsten 700 t tørstof/ha – svarende til 15,5 t tørstof/ha år i gennemsnitlig produktion. Rødgran og Sitkagran har produceret ca. 500 t tørstof/ha (11 t tørstof/ha år), mens bøg og ædelgran ligger på et niveau omkring 400 t tørstof/ha. (9 t tørstof/ha år). Douglasgran ligger som nævnt overraskende lavt, hvilket skyldes Douglasgran parcellens beliggenhed på et lavt areal med frost- og forsumpningsproblemer.

Næsthøjeste produktionsniveau findes i den midtjyske hedeplantage (Hastrup Plantage), hvilket kan forekomme overraskende, da den næringsrige lokalitet Bregentved indgår i sammenligningen. Det skal i den sammenhæng bemærkes, at forsøgsserien (Fig. 6) er den såkaldte "nåletræserie", hvori det blandt løvtræarterne kun er eg og bøg, der er repræsenteret. Netop Bregentveds stive og iltfattige lerjord tydeligvis giver især nåletræarterne problemer med sundhed og stabilitet.

Forsøget i Hastrup Plantage illustrerer hvordan pionérarten japansk lærk fra starten producerer mest, da den er relativ hurtigvoksende og meget tolerant i forhold til de vanskelige betingelser for kulturstarten i det midtjyske område, mens rødgran og Sitkagran starter lidt langsommere, for derefter at opnå en høj produktion, der er på samme niveau som på den midtsjællandske lokalitet, Skjoldenæsholm. Det skal også her fremhæves, at følsomme klimaksarter som bøg, Douglasgran og grandis helt som forventet har haft vanskeligheder i kulturfasen på denne lokalitet. Disse arter begynder først at vokse sig ud af kulturstadiet efter ca. 25 års forsinkelse i forhold til f.eks. lærk og rødgran. Herefter begynder især grandis at have en tilvækst på niveau med rødgran, mens bøg på denne sandjord aldrig vil vokse, som den gør i Østdanmark.

Den ringeste lokalitet i denne sammenligning er som nævnt klitplantagen i Thy, hvor træerne er plantet i flyvesand på en kystnær lokalitet. Her præsterer de nordamerikanske nåletræarter Sitkagran, contortafyr samt en underart af samme – *Pinus contorta murrayana* – den højeste produktivitet på 300-350 t tørstof/ha svarende til 7,5 – 8 t tørstof/ha år, hvilket absolut er imponerende lokaliteten taget i betragtning.

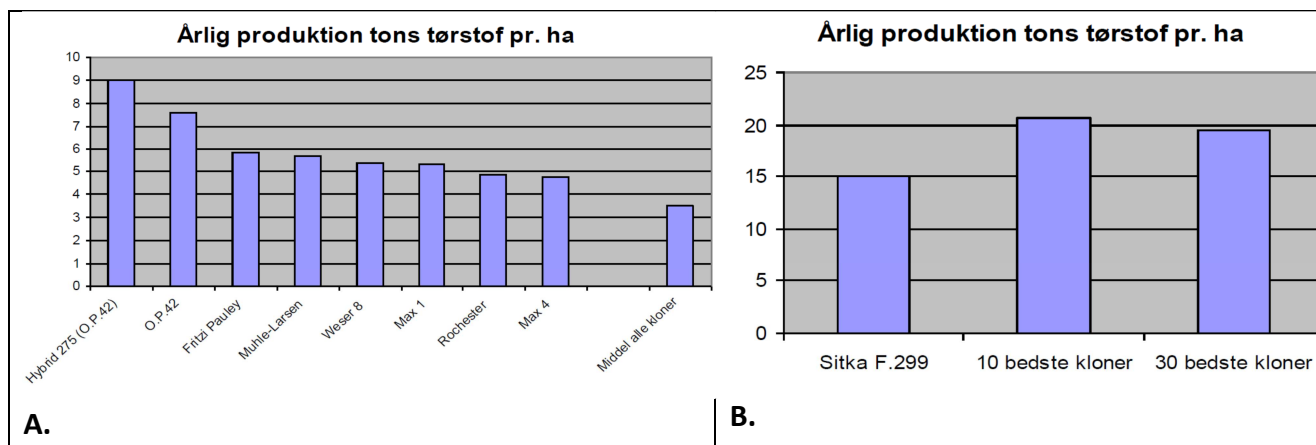
Valg af proveniens, klon samt forædling

Da den forstgenetiske forædling er langvarig og ressourcekrævende, har indsatsen måttet prioriteres stærkt i forhold til hvilket træarter, der har været fokus på. Derfor er adgangen til forædlet genetisk materiale meget forskellig fra art til art.

Skovbruget er – i modsætning til landbrug og havebrug – normalt baseret på dyrkning af vildformerne indenfor arterne. Forstgenetikken har understøttet praktisk skovforvaltning mange steder i Verden, så det har været muligt at vælge et godt, højtydende og sundt genetisk materiale, som producerer træprodukter af høj kvalitet. I skovbruget bruges ofte betegnelsen ”proveniens” til at karakterisere den geografiske oprindelse af det genetiske materiale. Det drejer sig i reglen om et bestemt geografisk område, en frøavlsbevoksning eller en frøplantage.

Egentlige forædlingsprogrammer, hvor afkom fra kendte modertræer og evt. ”fædre” fremavles og udplantes i sammenlignelig forsøg, repræsenterer et skridt videre mod et mere veldefineret genetisk materiale, som vil være udvalgt i forhold til nogle – ofte få - udvalgte kriterier som f.eks. vækstkraft, stammerethed, sundhed m.v. I udviklingen af mere intensive skovdyrkningsmetoder – oftest indenfor plantageskovbrug - er forædlingsprogrammerne ofte et af de vigtigste elementer, som bidrager til den øgede produktivitet. Blandt de øvrige vigtige elementer skønnes i en analyse af udviklingen i amerikansk fyrre-plantage skovbrug i sydstaterne at være er gødskningsprogrammer, ukrudtsbekæmpelse og klargøring af kulturarealer (Stanturf et al 2003), se også notatet om ”Analyse af forædlingspotentiale for højere produktivitet i skovbruget” for en mere grundig gennemgang af baggrund og potentiale i skovtræforædling.

Anvendelse af kloner har ikke opnået stor udbredelse i dansk skovbrug, men er dog sket i mindre omfang indenfor den meget begrænsede dyrkning af poppel samt i endnu mindre omfang indenfor asp. I landskabet er kloner af disse to arter samt pil anvendt først og fremmest til læplantning og for pilens vedkommende til andre formål. Disse arter kan krydses ved kontrolleret bestøvning, hvorfor der relativt enkelt kan frembringes krydsninger blandt arterne. Herfra kan individer let opformeres med stiklinger og anvendes som en vidt udbredt klon med særlige egenskaber. Mennesket har allerede tidligt i historien anvendt kloner af popler og pil, hvorfor der indenfor disse træarter eksisterer en lang tradition for at anvende et helt specielt og meget veldefineret genetisk materiale.



Figur 7. Gennemsnitlig årlig totalmasse produktion over jordoverfladen (t. tørstof/ha år) i poppel og Sitkagran klonforsøg i Danmark (Nielsen et al. 2011).

A. Gennemsnit af to poppelklonforsøg på landbrugsjord opgjort 13 år efter etablering. Maksimal gennemsnitlig produktion forventes ved omdriftsalder på 25 år, men det forventes ikke, at produktionsniveauet vil blive væsentligt højere ved denne omdrift end hvad disse foreløbige resultater viser. Her er kun resultaterne for de otte bedste kloner samt gennemsnit for alle kloner i forsøgene vist. De to mest højtydende kloner er begge OP42 kloner. Forskellen på produktionsniveau mellem disse to skyldes formodentlig at stiklingerne til forsøgsmaterialet stammer fra to forskellige modertræer og positioner på disse.

B. Bedste skøn for produktion i 40 årig omdrift i en udvalgt højtydende Sitkagran provenies (F.299) samt ved udvælgelse af henholdsvis de 10 og de 30 bedste kloner i et klonforsøg med kloner udvalgt fra denne proveniens.

Flere andre træarter kan også relativt enkelt opformeres vegetativt. Fig. 4 viser niveauer for tørstofproduktion i forsøg med kloner af poppel kloner og Sitkagran. Bemærk især det væsentligt højere forventede produktionsniveau i Sitkagran sammenlignet med poppel.

Træartsblandinger

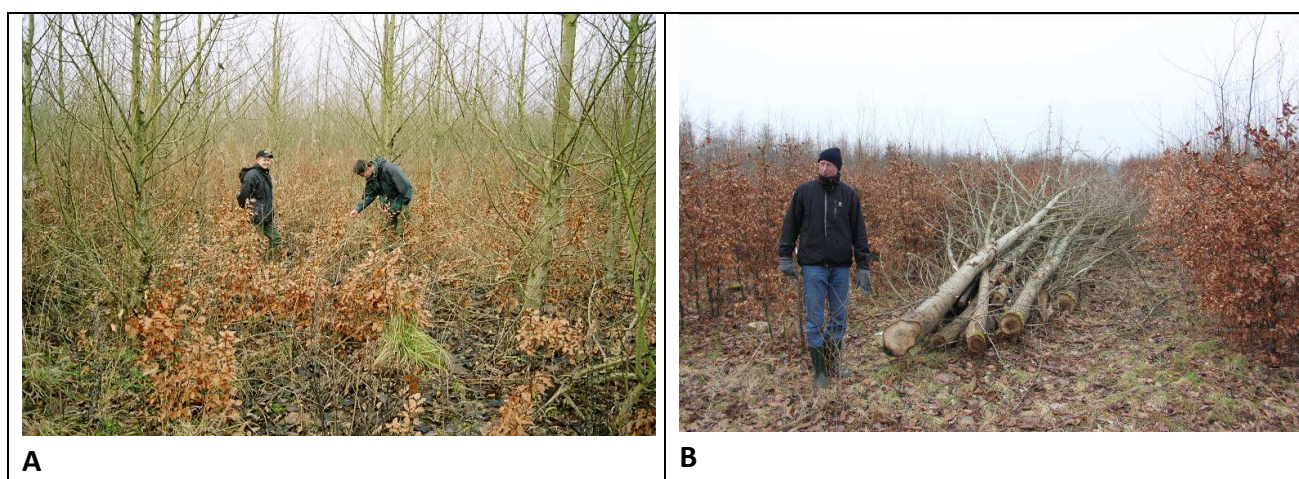
Skovbruget har en lang tradition for at anvende træartsblandinger afhængig af formål, lokalitet og strategier i forhold til fremtidens udfordringer og potentialer. Blandt de vigtigste mål med og argumenter for træartsblandinger er:

- etablering af udprægede pionérarter som hjælpetræer, der hurtigt kan skabe en skovtilstand i til beskyttelse af sarte klimaksarter i kulturfasen; sidstnævnte vil blive bevoksningens hovedtræarter på langt sigt
- opnå blandingsbevoksninger på langt sigt med henblik på at øge bevoksningens sundhed, stabilitet, biodiversitet samt risikospredning i forhold til fremtidens klima, sygdomme og skadedyr
- sikre bedre tilpasning til uensartede jordbundsforhold og økologiske kår i øvrigt
- indblande en billigere art end hovedtræarten i skovkulturer for at spare kulturudgifter og måske opnå tidligere udbytte (f.eks. rækkevis blandinger af rødgran og eg).

Særligt førstnævnte mulighed indebærer generelt et potentiale for at forøge produktiviteten væsentligt på skovbrugets kulturarealer og i skovrejsningen i kulturfasen. Med meget hurtigtstartende pionérarter (hjelpearter) som poppel, asp og lærk, som er relevante på forskellige jordtyper, tyder sammenligninger mellem produktionsdata på, at produktiviteten ved skovrejsning og i skovbevoksninger i løbet af 1-3 år kan opnå samme produktivitet, som f.eks. pil og poppel i landbrugsmæssige korte omdrifter. Særligt ved skovrejsning på landbrugsjord kan der forventes høj produktivitet fra starten, mens poppel har svært ved at etablere sig og opnå høj produktivitet på sur skovjord – især vest i hede- og klitplantagerne vest for israndslinien.

Tilmed vil den skovdyrkningsmæssige tilgang være betydeligt mere ekstensiv og skånsom end den landbrugsmæssige, som ofte vil indebære gødningstilførsel, korte omdrifter og dermed mere intensiv maskinindsats samt høst af småt dimensioneret materiale med relativt højt bark- og næringsstofindhold.

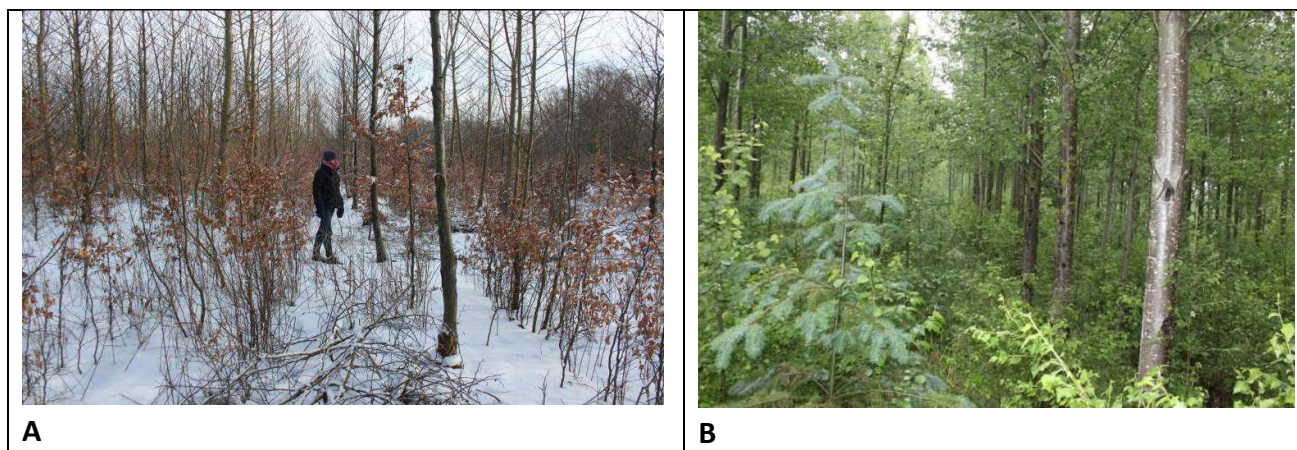
Det er således ikke kun landbruget, men i høj grad også skovbruget, som kan præstere en væsentlig forøgelse af produktiviteten ved at vælge højproduktive træarter, med forskellig vækstrytme. De hurtigtstartende pionérarter (hjelpetræarter) kan plantes i blanding med højproduktive klimaksarter og dermed sikre høj produktion fra starten af omdriften og i klimaksarternes lange foryngelsesfase. Hjelpearterne fjernes dernæst fra arealet i løbet af de første 15-30 år, hvorefter de mere produktive, men langsomt startende klimaksarter, gradvist overtager og sikrer, at produktionsniveauet stiger yderligere og når et højt og relativt konstant niveau gennem flere årtier afhængig af træarten, Fig. 8 og 9.



Figur 8. Eksempel på produktiv skovrejsning ved Kolding (NST-Trekantsområdet) med poppel som hjelpetræart og sået bøg som hovedtræart, etableret forår 1999.

A. *Vinteren 2004-05: 6 år efter etablering. Poplerne er på dette tidspunkt udrenset én gang vinteren forinden.*

B. *Vinteren 2010-11: 12 år efter etablering. Poplerne er to år tidligere tyndet en gang. Dertil denne skovning af resten af poplerne med et udbytte på ca. 160 rm flis/ha. Udbyttet blev ikke målt ved første tynding, men skønnet væsentligt højere end ved den seneste fjernelse af poplerne. Det samlede udbytte efter 12 år vurderes til at være 4-500 rm flis/ha. Der vil formodentlig blive endnu en høst af poppel om 5-10 år, da en stor del af poplerne sætter stødskud.*



Figur 9. Eksempler på ekstensiv skovrejsning med højproduktiv skov.

A. Vejle: Poppel og rødell som hjælpetræer for bøg etableret ved såning. Foto fra vinteren 2011-12 - 9 år efter etablering. Ingen pleje efter etablering bortset fra opstamning af hjælpetræer og udrensning af pil i mindre omfang. Etablerings- og plejeomkostninger mindre end 10.000 kr/ha.

B. Skåne: Hybridasp fra 2002 underplantet med Douglasgran i 2005. Foto fra juni 2012: 10 år efter etablering af hybridasp danner de en fin skærm for Douglasgran.

Det skal understreges, at selvom skovbrugets omdrifter forekommer lange i forhold til landbrugets, så betyder det ikke, at biomassen fra skovkulturer og bevoksninger først kan høstes efter flere årtiers vækst. Skovbevoksninger tyndes jævnligt gennem hele omdriften og giver således løbende udbytter. Dertil kommer potentialet i at anvende de hurtigtstartende pionértræarter som hjælpetræarter, som kan levere store og tidlige udbytter (Fig. 5 og 6).

Erfaringsgrundlaget i praksis i forhold til at anvende hjælpetræer i skovkulturer og skovrejsning er ganske omfattende, og har resulteret i mange forskellige holdninger til metoden. Den enkelte skovdyrker er givetvis meget påvirket af personlige gode eller dårlige erfaringer. Det vurderes, at mange af de dårlige erfaringer er høstet med baggrund i det hidtidige og lavt betalte marked for biomasse. Det har ikke været muligt at gennemføre fjernelsen af hjælpetræerne uden omkostninger, hvorfor de nødvendige indgreb af hensyn til klimaksarterne ofte er blevet forsømte. Især i forhold til mere lyskrævende hovedtræarter, har dette i mange tilfælde resulteret i for sene tyndingsindgreb. Samtidig vurderes det, at konkurrenceforholdet mellem hjælpetræarterne og hovedtræarterne samt hovedtræarternes tolerance overfor hjælpetræernes konkurrence er meget lokalitetsafhængig – især jordbundsafhængig. Dermed kan de samme træartsblandinger udvikle sig forskelligt ved samme dyrkningsprogram (f.eks. tyndingsprogram), og som konsekvens er der behov for at opbygge det videnskabelige grundlag for disse skovdyrkningsmetoder. En ny generation af træartsforsøg, hvor de mest relevante træartsblandinger og dyrkningsmetoder afprøves og dokumenteres vil være relevant at få iværksat.

Muligheder og udfordringer for træartsvalget i fremtiden

Som altid i skovbruget må man handle i forhold til en relativ fjern og ukendt fremtid. Det gælder i forhold til de funktioner og produkter, som fremtidens ejere og samfund forventer skovene, skal opfylde og det gælder fremtidens økologiske og miljømæssige kår.

I skovbruget forholder man sig på forskellig vis til denne usikkerhed, og gennem tiden har der været forskellige strømninger. Der har i det danske skovbrug udviklet sig en praksis med anvendelse af en lang række ikke-hjemmehørende træarter foruden de hjemmehørende. Det skyldes givetvis, at skovbruget har sine rødder i et landskab, der for 150-200 år siden var næsten totalt afskovet, og ødelæggelse af skove og landskaber var næsten total efter århundreder med ikke-bæredygtig udnyttelse. Den næsten totale afskovning og det degraderede landskab bød de fleste steder på så vanskelige betingelser for skovrejsning, at de hjemmehørende arter slet ikke kunne etableres. Det var især tilfældet i hedeområderne, hvor kun de mest hårdføre indførte træarter som bjergfyr og rødgran kunne etableres og dermed påbegynde den langvarige genskabelse af skovklima og skove.

Dette er sandsynligvis hovedårsagen til, at vi i Danmark har udviklet sig en skovbrugstradition, hvor det er stort set ligeså almindeligt at anvende fremmede som hjemmehørende træarter. Foruden hensynet til at bruge træarter, som er tilpasset de økologiske kår, har det også været en vigtig og erklæret strategi for mange skovejere og skovforvaltere, at et bredt spektrum af træarter i skovdriften er vigtig for risikospredningen for den virksomhed, som et skovbrug er. Det gælder både risikospredning i forhold økologiske og økonomiske forhold. Skovbrugshistorien byder på mange eksempler på skadelige og ødelæggende begivenheder – f.eks. sygdomme og insektangreb samt stormfald, tørke og brand. Dertil kommer at markedet for skovbrugets produkter – og dermed erhvervets økonomiske grundlag – har vist store udsving gennem tiden.

Der er ingen grund til at tro, at fremtiden bliver mere forudsigelig end fortiden for skovbruget. Klimaforandringer, nye eller ukendte angreb af sygdomme og skadedyr, samt ændrede markedsforhold for skovbrugets produkter vil givetvis fortsat give nye udfordringer og muligheder.

Klimaforandringer

Skov modvirker CO₂-stigningen

Skovene spiller en dobbeltrolle i forhold til klimaforandringerne. De har både potentialet til at modvirke CO₂-stigning i atmosfæren og dermed også klimaforandringerne. Samtidig skal skovene og dermed træerne kunne tilpasse sig det ændrede klima og herunder opretholde stabiliteten, sundheden og vækstkraften. Det er vigtigt at gøre sig klart, at de træer, som etableres nu i starten af det 21. århundrede med stor sandsynlighed vil blive udsat for virkningerne af de forventede klimaforandringer.

Den stigende efterspørgsel på biomasse giver skovbruget fornyet optimisme og tro på en økonomisk sund fremtid. I flere årtier har træ og biomasse været prissat meget lavt som følge af lave priser på fossilt kulstof – en pris som ikke har taget højde for de tilhørende skadelige effekter. Behovet for at frigøre vores samfund fra afhængigheden af fossilt kulstof er efterhånden kommet højt på samfundets dagsorden – uanset om det ”grønne kulstof” skal anvendes direkte til energi eller først skal indgå i andre råvarer eller anvendelser før det til sidst bruges til energi. Dertil kommer, at et mere produktivt skovbrug med en generelt højere stående vedmasse, samt ikke mindst en forøgelse af skovarealet vil bidrage til at lagre kulstof fra atmosfæren og modvirke yderligere CO₂-stigning i atmosfæren og dermed sandsynligvis også klimaforandringer.

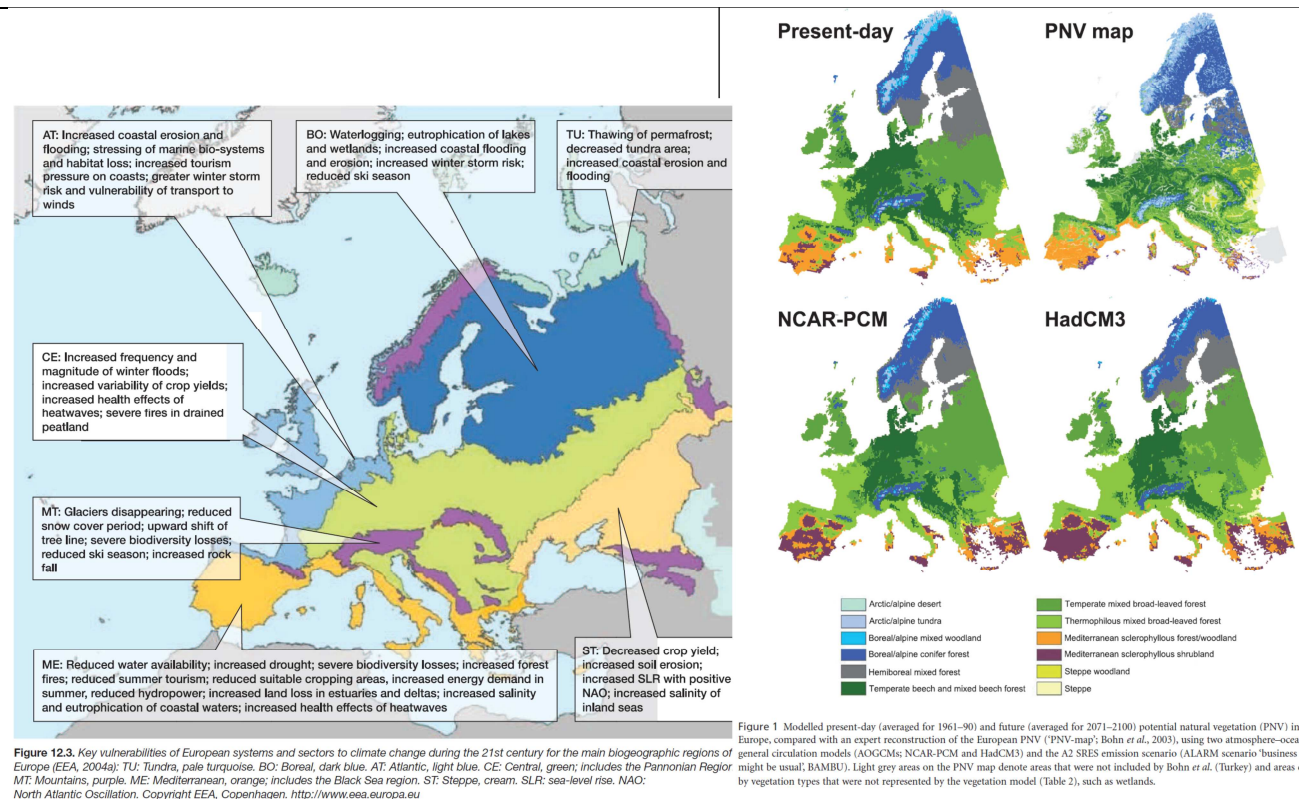
Da valget af træart og genetisk materiale er helt centralt for skovens produktivitet, sundhed og stabilitet er dette valg også helt centralt i forhold til, hvordan klimaforandringer og bestræbelserne på at modvirke dem spiller ind på f.eks. markedet for biomasse. De tidligere skitserede muligheder for at øge produktiviteten i skovbruget er derfor afgørende for at udnytte potentialet i skovbruget. De er også afgørende for at gennemføre en kritisk analyse af arealanvendelsen i det danske landskab. I den forbindelse skal det påpeges, at det skovrejsningsprogram, som blev vedtaget for ca. 20 år siden med det mål at fordoble det danske skovareal indenfor en trægeneration (ca. 100 år) er langt bagud i forhold til den oprindelige plan.

Skovens tilpasning til klimaforandringer

Klimaforandringer forventes at få væsentlig betydning for skovene i fremtiden. Fig. 10B viser eksempler en vegetationsmodels estimer for sandsynlige ændringer i udbredelsen af europæiske naturlige vegetationstyper i 2100 afhængig af hvilke klima-modeller (NCAR-PCM eller HadCM3), som anvendes (Alcamo et al. 2007). Disse modelberegningerne for 2100 kan i Fig. 10B sammenlignes med modelberegningen for nutidens klima (Present-day) samt for en nutidig opgørelse af vegetationstypernes udbredelse (PNV). IPCC-rapporter (Intergovernmental Panel on Climate Change) beskriver scenarier for klimaforandringerne samt skitserer de væsentligste klimamæssige udfordringer i forskellige dele af Europa, Fig. 10A.

Det er tydeligt, at der forventes store forskydninger af skovtypernes udbredelse. Der findes endvidere estimer for de enkelte arters forventede påvirkning af klimaændringerne (f.eks. Skov et al. 2006), men hvordan skovbruget med fordel og konkret kan handle nu i forbindelse med træartsvalget er naturligvis meget usikkert i forhold til at matche en fremtidig optimal tilpasning af træarten til lokaliteten (jordbund og fremtidens klima) samt driftsformålet.

For Danmarks vedkommende ser det ud til (Fig. 10B), at grænsen mellem den central europæiske ”Tempererede bøge og bøgeblandingsskov” og ”Tempererede løvblandingsskov” rykker mod øst til Sydsverige, hvilket ikke umiddelbart repræsenterer et scenarium med store forandringer for de vore skove. De mere væsentlige ændringer fremgår af Fig. 10A, hvor Danmark befinder sig på grænsen mellem to biogeografiske regioner. For skovene og skovbruget forventes de væsentligste udfordringer at blive højere risiko for storme og orkaner (winter storm), højere temperaturer og især højere ekstreme temperaturer om sommeren (heat waves), hvilket sammen med mindre



A.

B.

Figur 10. **A.** IPCC's forventninger til de væsentligste udfordringer og som følge af de mest sandsynlige klimaforandringer i det 21. århundrede (Alcamo et al. 2007). **B.** Sandsynlige ændringer i udbredelsen af naturlige europæiske vegetationstyper indtil 2100 som følge af forventede klimaændringer, som disse er estimeret ved hjælp af to forskellige klimamodeller (NCAR-PCM og HadCM3). Nutidens (Present-day) modellerede udbredelse af vegetationstyperne er endvidere sammenholdt med en egentlig nutidig opgørelse (PNV – Potential Natural Vegetation) for at verificere vegetationsmodellen i forhold til den kendte situation (Hickler et al. 2012).

Larsen et al. (2010) har sammenfattet og skønnet effekterne af de forventede klimaforandringerne for de vigtigste træarter i dansk skovbrug (Tabel 1). Det ses, at der overvejende forventes negative effekter af klimaforandringerne for vore nuværende træarter, selvom der også er eksempler på positive effekter af øget temperatur fra de mest "sydlige" af vore nuværende træarter. Derudover kan det forventes, at flere fremmede træarter, som ikke fremgår af Tabel 1 vil blive relevante for dansk skovbrug.

For verdens skove ser klimaforandringerne iflg. en omfattende IUFRO-rapport ud til at medføre en generelt højere produktion af træ (Osman et al. 2009). Ligeledes konkluderer en IPCC-rapport (Chum et al. 2011), at biomasse nu dækker ca. 10 % af verdens samlede energiforbrug. Heraf dækker træ og træprodukter mere end 80%. I rapporten konkluderes det imidlertid også, med

baggrund i en række scenarie-analyser, at bioenergien omkring 2050 vil komme til at bidrage til det samlede globale energiforbrug med op til 6 gange mere energi, hvilket peger på en betydelig styrkelse af skovenes og skovbrugets betydning for Verdens fremtidige energi- og råvareforsyning.

Tabel 1. Sammenfattende opgørelse af træarternes følsomhed for de vigtigste elementer i de forventede klimaændringer. "Temperature" referer til temperatureffekten alene, mens "Precipitation" primært referer til effekten af tørkerisikoen og generelt større nedbørsunderskud i vækstperioden.

Signaturforklaring: (---) = Stærk negativ; (--) = Negativ; (-) = Mindre ulempe; () = Neutral; (+): Mindre fordel.

Efter Larsen et al. (2010).

Species	Temperature	Precipitation	Storm	Pests	Overall assessment
Beech		-	-	-	---
Oak	+	-	-	-	--
Ash		-	-	-	---
Sycamore		-	-	-	---
Lime	+	-	-	-	--
Wild cherry		-	-	-	---
Hornbeam	+	-	-	-	--
Norway maple		-	-	-	---
Alder	-	--	-	-	-----
Birch		-	-	-	---
Norway spruce	---	---	---	--	-----
Sitka spruce		---	---	--	-----
Douglas fir		-	--	-	----
Silver fir		--	--	-	-----
Grand fir		-	---	-	-----
Noble fir		--	--	-	----
Larch		-	-	-	---
Scots pine		-	-	-	---

Storm

Der forventes i fremtiden flere og stærkere storme i vinterhalvåret (Fig. 7A). Storm er generelt et større problem for dyrkningen af nåletræer end løvtræer, fordi stormene typisk optræder efter løvfald i efteråret, hvorved løvtræerne (og lærk) ikke påvirkes så meget. Dertil kommer, at en række nåletræarters forankring og stormstabilitet er relativ ringe og samtidig stærkt påvirket af

jordbund, hugstbehandling, træartsblanding, valg af plantetype i foryngelsesfasen samt bevoksningshøjde og dermed omdriftens længde.

Helt grundlæggende kan en kombination af hurtig start- og ungdomsvækst samt en begrænset rodudvikling og –forankring resultere i et lavt rod/top forhold og ringe stabilitet. Dette kendes i praksis f.eks. fra træarter som contortafyr og Douglasgran. Sidstnævnte art er dog kendt for at blive stabil omkring 50-års alderen og herefter blive en af vore mest stormfaste og sunde arter. Det formodes, at korrekt valg af plantetyper ved plantning kan imødegå dette problem med stabiliteten i unge og mellemaldrende bevoksninger for en række af vore nåletræarter.

Generelt stiger risikoen for stormfald dog med bevoksningshøjden og dermed alderen for de fleste træarter. Jo højere træer, jo mere kraft får vinden. Derfor kan en strategi i et skovbrug, som står overfor en stigende risiko for stormfald være generelt at reducere omdriftsalderen – også selvom det måtte betyde, at enkelte træarter ikke kan opnå den alder som sikre maksimal gennemsnitlig produktion. Det skal understreges, at der ikke her er tale om at gå over til lavskovsdrift i helt korte rotationer som i landbruget (< 10 år), men de kunne være at reducere omdriftsalderen 10 år fra f.eks. 80 til 70 år for nåletræarter. En kortere omdrift vil også reducere stormfaldsrisikoen ved, at de mængder af træ, som pludseligt skal skove, oparbejdes og sendes på markedet i forbindelse med stormfald, vil blive betydeligt mindre. Samtidig reduceres det værditab på tømmeret, som skyldes brud og skader på træerne.

Hugstbehandlingen af bevoksningerne har også stor betydning for stormfastheden (Nielsen, 2009). Generelt destabiliserer hugstindgreb en bevoksning, hvorefter det tager 4-5 år for bevoksningen at genoprette stabiliteten efter hugst. Det er muligt gennem valg af tyndingsmetoder og –strategier for de enkelte bevoksninger og for skoven som helhed at påvirke stormstabiliteten væsentligt. Dertil kommer valg af skovdyrkningssystemer og tilgangen til skovdyrkingen. Det kommer for vidt her, at behandle emnet detaljeret, men det kan f.eks. nævnes, at når renafriftssystemet praktiseres, er det vigtigt at forsøge at planlægge renafrifternes placering, så stormudsatte bevoksninger ikke blottes i vestlige retninger. Renafriftssystemet er almindeligt f.eks. i plantage- eller industriskovbruget.

Der er flere alternative skovdyrkningssystemer til renafriftssystemet. De fleste er baseret på mere langstrakte foryngelsesfaser, hvor man søger i højere grad at opretholde vedvarende skovdække og dermed undgå det fulde tab af skovklimaet på arealet. Flere af disse skovdyrkningssystemer indgår i den naturnære driftsform, hvor man på langt sigt forsøger at fremme en mere heterogen og varieret bevoksningsstruktur – oftest med gruppevis træarts- og aldersblandinger. Hensigten er ikke kun at forøge den eksisterende bevoksnings stabilitet og modstandskraft (resistens) mod storm og andre skadelige påvirkninger, men også at forøge skovens evne til at selv at ”reparere” skovtilstanden (resiliens) ved naturlig foryngelse i tilfælde af skadelige påvirkninger. Den varierende skovstruktur vil med stor sandsynlighed også reducere risikoen for store sammenhængende og fladevis stormskader. Dog skal det fremhæves, at der i en række af Skov & Landskabs forsøg med skematisk anlagte træartsblandinger er høstet meget dårlige erfaringer med stormstabiliteten af nåletræerne i disse blandinger med f.eks. eg og rødgran eller bøg og

rødgran. Nåletræerne viste sig at være væsentligt mindre stormfaste end tilsvarende nåletræer i rene nåletræbevoksninger. Samtidig blev de indblandede løvtræer skadet ved nåletræernes pludselige sammenbrud (Fodgaard, 2007 a og b). Derfor er træartsblandingen ikke nødvendigvis i sig selv nogen garanti for øget stabilitet i forhold til storm, men et element i skovdyrkningen, som skal etableres og plejes korrekt for at opnå de ønskede mål.

Tørke og temperatur

Der forventes i fremtiden mere intense tørkeperioder i forbindelse hedeølger i vækstperioden (Fig. 10A). Med hensyn til tørke er samspillet mellem træart og lokalitet (klima og jordbund) igen en meget kritisk faktor. Blandt vore almindeligt dyrkede træarter i Danmark er de mest tørkefølsomme naturligvis de arter, som er særligt tilpassede fugtige og våde lokaliteter som f.eks. rødel og ask. Hvorvidt sådanne arter trues af klimaforandringerne er svært at sige, da de nuværende fugtige områder i skovene formodentlig også i fremtiden vil være fugtige i fremtiden – måske endog mere fugtige, da det må forventes, at den hidtidige intensive kunstige dræning af skovene vil aftage – både på grund af økonomiske hensyn og hensyn til naturindholdet. Dertil ser hovedtruslen for en art som ask for tiden slet ikke ud til at være klimaforandringerne, men sygdommen asketoptørre.

De mest truede arter i relation til fremtidens forventede tørkehændelser er de arter, som grundlæggende er tørkefølsomme, og som dyrkes på sandede og tørre jorder, på meget lerede jorder eller på jorder med hårde rod- og evt. vandstandsende lag, som begrænser rodudviklingen og dræningen væsentligt. Heriblandt findes en række af vore vigtigste træarter som rødgran, Sitkagran, bøg og ær (ahorn), mens arter som eg, lind, asp, poppel, grandis, Douglasgran og lærk bedre kan klare tørke – så længe jordbunden gør det muligt for dem at udvikle de dybtgående rodsystemer. Dertil klarer arter som eg, lind og thuja sig relativt godt på meget lerede jorder med begrænsninger i for rodudviklingen i dybden.

Det er vigtigt for træernes og skovens tørkeresistens, at skovdyrkeren i sin forvaltning tager grundlæggende hensyn til betydningen af at opretholde et godt skovklima – f.eks. ved opretholdelse af en etageret skovstruktur, som forhindrer kraftig græsvækst i skovbunden og giver læ i skoven. Dernæst er det også meget vigtigt, at undgå komprimeringsskader på især lerede jorder og morænejorder, da det kan medføre indskrænkninger i træernes rodrum. Dette kan ske ved at etablere og opretholde et fast sporsystem i skovene, hvilket f.eks. allerede er implementeret i de certificeringsordninger, som tilbydes alle skovforvaltninger.

Problemstillingen omkring temperatur kan også dreje sig om frost problemer, som primært er knyttet til bevoksningers foryngelsesfase. Klimaændringerne vil næppe gøre frostproblemerne større i skovbruget, men det er igen værd at understrege, at skovdyrkningssystemer, hvor der værnes om skovklimaet effektivt kan modvirke frostproblemer i kulturfasen. I tilfælde af, at de eksisterende skovstrukturer og træarter er så sunde og stabile, at de i foryngelsesfasen kan tåle en gradvis åbning af kronetaget (skæmstilling, lysbrønde, irregulære skærmsystemer samt kulisser og kileforyngelser), vil det ofte være fordelagtigt at benytte sig af disse muligheder i kombination

med naturlig foryngelse, såning eller plantning. Hvis den eksisterende bevoksning ikke har den fornødne stabilitet (f.eks. granbevoksninger) – eller man af f.eks. økonomiske årsager finder det mere rationelt med renafdrift – kan de tidligere skitserede foryngelsesmetoder med anvendelse af hjælpetræer i mange tilfælde og relativt hurtigt afhjælpe renafdriftens skovdyrkningsmæssige problemer med frost og ukrudtskonkurrence samtidig med, at hjælpetræerne hurtigt kan for genetableret fuld produktion på arealet.

Mange af de højproduktive træarter – hjemmehørende såvel som fremmede – er relativt godt tilpasset en fremtid med lidt flere nedbørs- og temperaturmæssige udfordringer. Det gælder grandis, Douglasgran, lærk, thuja, lind, poppel og asp. Rødgran, Sitkagran samt i et vist omfang også bøg og ær er givetvis mere følsomme, hvilket peger i retning af, at man i højere grad bør overveje at dyrke dem i blanding med nogle af de mere robuste arter. Dette er absolut ikke nogen enkel løsning og det skal her blot påpeges, at spørgsmålet om, hvordan blandingerne konkret skal udformes på en given lokalitet, kræver lokal skovdyrkningsmæssig indsigt og opfølgning.

Insekt- og sygdomsangreb

Globalt er hyppigheden af nye sygdoms- og skadedyrsangreb øget i historisk tid med den stigende menneskelige rejse- og transportaktivitet – og der er ikke noget, som tyder på, at problemet er aftagende eller vil begynde at aftage. Tværtimod, forventes klimaforandringerne at øge problemernes. I Danmark kendes allerede en række sygdomme og skadedyr, som har forvoldt eller aktuelt forvolder stor skade på enkelte træarter: Elmesyge, asketoptørre og kastanie-minérmøl. Dertil kommer aktuelle bekymringer vedr. phytophthora og dens ødelæggende potentiale i forhold til en lang række træarter; ligesom det også er bekymrende at tænke på, hvad der kan ske, hvis egevisnesygen – på trods af stramme karantænerregler - kommer til Europa fra USA.

I det vestlige Canada og USA har man siden slutningen af 1990'erne oplevet, hvordan barkbille angreb (Mountain pine beetle) har beskadiget eller helt ødelagt enorme skovarealer med hjemmehørende contortafyr. I British Columbia alene drejer det sig iflg. Osman-Elash et al. (2009) om et areal på 13,5 mill. ha – svarende til næsten halvdelen af al contorta i provinsen. Dette areal svarer til mere end halvdelen af det svenske produktive skovareal. Dertil kommer skader på store områder i de vestamerikanske stater syd for Canada. Træerne dræbes af billerne, tørrer og i løbet af kort tid er risikoen for, at barkbilleangrebet resulterer i enorme skovbrande stor. Skovbruget og savværksindustrien kan slet ikke følge med at oparbejde disse mængder af tømmer til et træmarked, som i forvejen er ramt af den økonomiske krise. Hofstetter og Wagner (2011) sætter dette i perspektiv: Katastrofen forventes inden 2020 at have udløst et CO₂ udslip på 270 Megatons til atmosfæren – svarende til 10 års CO₂ binding i hele Canadas enorme skovområde. Eksemplet viser, hvor galt det kan gå som følge af insektangreb, når skovområder enten forvaltes med henblik på eller får lov at udvikle sig i retning af stor ensartethed; og det er svært ikke at betragte de boreale skove i Norden med bekymring.

Klimaet vil i ukendt grad kunne påvirke samspillet og styrkeforholdet mellem træer og skadegørere, og vi kan kun håbe, at der ikke opstår tilsvarende skader andre steder i Verden, som dem, der nu ses i det vestlige Canada og USA.

Prognoserne for klimaforandringerne er naturligvis forbundet med stor usikkerhed, og ethvert forsøg på at prognosticere træarternes og vegetationszonernes fremtidige udbredelse og artsfordeling er givetvis forbundet med endnu større usikkerhed. Dertil kommer menneskets mulighed for at påvirke skovene. Derudover må det forventes at fremtidens sygdoms- og insektangreb er endnu mere uforudsigelige – givetvis helt uforudsigelige. Man kan naturligvis med nogenlunde rimelighed forvente, at varmere vintre her i Danmark vil favorisere forekomsten af Sitkalus og dermed øge hyppighed og forekomst af afnåling med deraf følgende tilvækstnedgang og risiko for forkortet omdrift ved gentagne angreb af lus i Sitkagran. Forståelse af disse mekanismer og udnyttelse af potentiel resistens i nyt forædlet materiale kan derfor vise sig at være væsentlige komponenter i en fremtidig stabil biomasseproduktion i Sitkagran.

Den sikreste strategi i forhold til den betydelige risiko for fremtidige angreb af insekter og sygdomme på enkelte træarter eller måske grupper af arter, må derfor i et vist omfang omfatte forsøg på at sprede risikoen på forskellige lokalitetstilpassede træarter - og indenfor træarterne på genetisk materiale, som så vidt muligt tillader en høj grad af tilpasningsdygtighed, resistens eller udvikling af resistens i forhold til klimaforandringer og nye sygdoms- og insektangreb. Det nordvestamerikanske og canadiske eksempel viser, at hjemmehørende træarter ikke i sig selv er en sikker strategi.

Konklusion

Ved at vælge højproduktive sunde og stabile træarter og træartsblandinger korrekt i forhold til lokaliteten og efterfølgende dyrke dem aktivt indenfor relevante skovdyrkningssystemer kan skovbruget præstere en produktion af træ og dermed biomasse, som er på niveau med eller højere end landbrugets produktion af biomasse i korte (< 10 år) omdrifter. Produktionen i skoven sker samtidig i dyrkningssystemer, som er karakteriseret ved et meget lavt input. Typisk gødskes og sprøjtes skov ikke, men der er naturligvis aktiviteter og dermed input forbundet med kulturetablering, tyndinger og slutafvikling hvad enten der er tale om renafdrift eller skovdyrkningssystemer, hvor skovdækket opretholdes gennem foryngelsesfasen. En yderligere intensivering med førnævnte hjælpepestoffer kan naturligvis ikke udelukkes på længere sigt, hvis behovet og efterspørgslen på træ og biomasse baner vejen for det.

Det vurderes, at der er et stort behov for at øge opmærksomheden på valget af træart og træartsblandinger, og få valget kvalificeret i forhold til en ukendt fremtid. Selvom fremtiden er ukendt, ser det dog ud til, at vi står overfor betydelige udfordringer i form af øget behov for træ og biomasse, hvis intentionerne om, at vore samfund skal reducere forbruget og afhængigheden af fossilt kulstof til både energi og som råvare betydeligt før 2050.

Dertil kommer at vi i forvaltningen af skovene alligevel skal forholde os aktivt til, hvordan de bør indrettes for bedst muligt at møde de store udfordringer, som klimaforandringer samt udbrud af både nye og velkendte sygdomme og insektangreb kan medføre. Risikospredning i form af artsdiversitet og genetisk diversitet indenfor arterne synes at være vigtige redskaber og principper i den sammenhæng.

Fremtiden vil efter al sandsynlighed byde på store forandringer for vore skove, uanset om vi bryder os om tanken eller ej. Udfordringerne og usikkerheden består ikke kun i alt dette, som vi ikke ved og ikke kan forudsige. Det består i høj grad også i, om vi i forvaltningen og forskningen kan nå frem til fælles forståelse for udfordringerne; og – om vi sammen og i gensidig respekt og nogenlunde enighed – kan udarbejde strategier, taktiker og metoder til at håndtere dette, så vi kan opnå fuld bæredygtighed i vores forvaltning af skovene – under skyldig hensyntagen til alle tre søjler i bæredygtighedsbegrebet.

Referencer

- Alcamo, J., J.M. Moreno, B. Nováky, M. Bindi, R. Corobov, R.J.N. Devoy, C. Giannakopoulos, E. Martin, J.E. Olesen, A. Shvidenko, 2007. Europe. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 541-580.
- Bradshaw, R., Mitchell, F.J.G. 1999. The palaeoecological approach to reconstructing former Grazing-vegetation interactions. *Forest Ecology and Management* 120: 3-12.
- Christersson, L. 2010. Wood production potential in poplar plantations in Sweden. *Biomass and Bioenergy* 14: 1289-1299.
- Chum, H., A. Faaij, J. Moreira, G. Berndes, P. Dhamija, H. Dong, B. Gabrielle, A. Goss Eng, W. Lucht, M. Mapako, O. Masera Cerutti, T. McIntyre, T. Minowa, K. Pingoud, 2011: Bioenergy. I: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlomer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Fang, S., Xue, J., Tang, L. 2006. Biomass production and carbon sequestration potential in poplar plantations with different management patterns. *Journal of Environmental Management* 85: 672-679.
- FAO, 2005. Key findings - Global Forest Resources Assessment 2005.
- Fodgaard, S. 2007a. Stormstabilitet (1) – hvad forsøgene viste. *Skoven* 39: 446-449.
- Fodgaard, S. 2007b. Stormstabilitet (2) – råd til skovdyrkerne. *Skoven* 39: 510-514.
- Hickler, T., Vohland, K., Feehan, J., Miller, P.A., Smith, B., Costa, L., Gisecke, Fronzek, S. Carter, T.R., Cramer, W., Kühn, I., Sykes, M. 2012. Projecting the future distribution of European potential natural vegetation zones with a generalized, tree species-based dynamic vegetation model. *Global Ecology and Biogeography* 21: 50-63.
- Hofstetter, R.W., Wagner, M.R. 2011. Carbon, Bark Beetles, and Biofuels. *Journal of Forestry* 109 (4), 245-246.
- Jørgensen, B.B. 1995. Løvtræartsserien fra 1973. Beskrivelse af forsøgsanlæg og kulturstart. Skovbrug Videnblade 3.2-3. Skov & Landskab, Hørsholm.
- Jørgensen, U., Lærke P.E., Larsen, S.U. 2012. Poppel til energiformål. Sammendrag. Plantekongres 2012. www.plantekongres.dk
- Jørgensen, B.B., Thormann, A., Thomsen, I.M. 1998. Kerneråd i nåletræ. Status og foreløbige analyser for træartsserien med nåletræ 29 år efter plantning. Bevoksningspleje og træproduktionsundersøgelser. Arbejdsnotat nr. 1. Forskningscentret for Skov & Landskab.
- Larsen, J.B., Johannsen, V.K., Thomsen, I.M. 2010. Denmark: Country Report – in the frame of COST Action FP0703 Echoes: Expected Climate Change and Options for European Silviculture. Forest & Landscape, Copenhagen.
- Lærke, P.E., Jørgensen, U., Kjeldsen, J.B. 2010. Udbytte af pil fra 15 års forsøg. Sammendrag. Plantekongres 2010. www.plantekongres.dk

- Madsen, P.; Jensen, F.A.; Fodgaard, S. 2005. Afforestation in Denmark, in: Stanturf, J.; Madsen, P. (Eds.), Restoration of Boreal and Temperate Forests. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Nielsen, C.N. 2009. Skov- og bevoksningsstrukturer, vedkvalitet, stabilitet, plejekontinuitet og klimatilpasning. Dansk Skovbrugs Tidsskrift 93 (1), 0-53.
- Nielsen, U.B., Jørgensen, B.B., Hansen, J.K. 2011. Biomasseproduktion i skov – eksempler fra Skov & Landskabs forsøg. Skoven 43: 432-433.
- Nord-Larsen, T. 2012. Figurer - upublicerede resultater fra Nåletræserien. Skov & Landskab, 2012.
- Nord-Larsen, T., Johannsen, V.K., Vesterdal, L., Jørgensen, B.B., Bastrup-Birk, A. 2009. Skove og plantager 2008, Skov & Landskab, Hørsholm, 2009. 21 s. ill.
- Osman-Elasha, B., Parrotta, J., Adger N., Brockhaus, M., Pierce Colfer, C.J., Sohngen, B., 2009: Future Socio-Economic Impacts and Vulnerabilities. I: Seppälä, R., Buck, A., Katila, P. (eds.). 2009. Adaptation of Forests and People to Climate Change. A Global Assessment Report. IUFRO World Series Volume 22. Helsinki. 224 p.
- Rytter, L.; Stener, L-G. 2005. Productivity and thinning effects in hybrid aspen (*Populus tremula* L. x *P. tremuloides* Michx.) stands in southern Sweden. Forestry 78: 285-295.
- Skov, F., Svenning, J.C., Normand, S. 2006. Sandsynlige konsekvenser af klimaændringer på artsudbredelser og biodiversitet i Danmark. Miljøprojekt nr. 1120 2006. Miljøministeriet, Miljøstyrelsen.
- Stanturf, J., Kellison, R.C., Broerman, F.S., Jones, S.B. 2003. Productivity of Southern Pine Plantations - Where Are We and How Did We Get here? Journal of Forestry 101(3): 26-31.